第69卷 第3期 地 质 学 报 Vol. 69, No. 3
1995年8月 ACTA GEOLOGICA SINICA Aug., 1995

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

层序界面和界线层型相结合而产生的地层划分的一个新概念:最优自然界线

梅 仕 龙
(中国地质大学，北京)

通过对层序界面的详细剖析，指明了层序地层系统是独立存在于地方性的岩石地层系统和全球性的年代地层系统之间的区域性、过渡性地层系统，并因此提出了一个新的三重地层分类方案；通过将层序界面概念和界线层型概念有机地结合起来，提出了应该将全球层型剖面和点（GSSP）选在层序界面的整合部位从而建立最佳自然界线的观点，为建阶工作指出了工作层位和地区；以二叠纪 Guadalupian 统和乐平统的分界研究为实例，对最佳自然界线的概念进行了详细阐述，并指出 Guadalupian 统和乐平统分界的最佳自然界线位于牙形石 *Mesogondolella granti* 带和 *Clarkina postbitteri* 带之间，它也是 Transpecos 复合层序(时带)和 UAA-1 复合层序(时带)之间的层序年代地层界面。

关键词 层序界面 新三重地层分类方案 界线层型 最佳自然界线 Guadalupian 统-乐平统界线

近年来，全球层型剖面和点（GSSP）研究已经遇到了诸如标志点层位的选择，相区的选择和统、阶范围大小等问题的严重困扰，并受到事件地层学的挑战而持续陷入自然界线和人为界线的激烈争论之中[1,2]。而层序地层学在80年代的建立和日益完善，已为地层学家提供了一个与传统地层学判然有别的划分和对比地层的理论和方法[3,4]。层序地层学主张以反映沉积容纳空间变化，并最终受全球海平面变化控制的地层序列中，存在的不整合面及其相当的整合面即层序界面和各类海泛面来划分各级层序地层单元，并且将沉积相和沉积体系放在等时的地层格架中进行研究，因此，层序地层序列兼具年代地层和成因地层意义。层序界面尽管和界线层型一样具有作为年代地层界线的性质，但是，层序界面还包含了历史上所谓的“自然界线”和事件地层学的事件界线。它具有明显的岩性和生物标志，因而是一个自然的地层分界面。而传统的全球层型剖面和点（GSSP）定义只是限定代表地质历史中某一特定时刻的参考点。从 Haq 等[3]的中、新生代海平面变化旋回表中不难看出，与上述参考点对应的阶的界线大多比相关的层序界面高一小段距离，因而缺乏明显的岩性标志，其赖以确定的生物标志也较不明显并常常带有强烈的人为色彩，因

注：本文为国家科委基础研究关键性重大项目《中国古大陆及边缘层序地层学和海平面变化研究》之成果。
本文1994年4月收到，1995年2月改回，萧品芳编辑。

此在生产实践中可操作性很差，这已成为广大地质学者在科研和生产实践中的普遍感受。笔者通过用层序地层学的观点重新认识二叠纪 Guadalupian 统和乐平统的分界问题发现，通过将层序界面的概念和界线层型的概念结合起来，即将全球层型剖面和点（GSSP）选在层序界面的整合部位，不仅可以解决近年来界线层型研究中遇到的如标志点层位的选择，相区的选择和统、阶范围大小等问题，而且可以把历史上所谓的"自然界线"、界线层型概念和事件地层学的事件界线三者有机地统一起来；依据这个原则和方法确立的地层界线具最优越的可操作性，可能是最佳的自然界线，因为它具有比传统的岩石、年代地层界线优越的特点：容易识别和确定；易于追索和对比；能很好地反映地质演化的阶段性。

1 层序界面的实际含义及新的三重地层分类系统

由于层序界面之上的地层总是比其下的地层新，因此层序地层学者普遍认为层序地层学建立的是等时的地层格架[3,4]。然而，对层序界面的丰富内涵却缺乏细致的研究。近年来的实践表明：层序的边界并非严格等时。根据普遍接受的对"层序"的定义，即"层序以不整合面或与之相当的整合面为界线"，不难看出层序界面包括不整合部位和整合部位两个部分，其不整合部位在时空上实际代表一个沉积缺失时间间隔的楔形体(图 1)，即从陆逐渐向海的方向，层序界面的不整合部位所代表的缺失沉积记录的时间间隔渐短，直到连续沉积。这个楔形体的顶面为层序形成时的向陆方向的上超面（本文称之为层序界面的顶界面），其底面为该层序沉积在其上的沉积基底面(本文称之为层序界面的底界面)。层序界面的顶界由不整合部位向整合部位延展其时代逐渐变老；层序界面的底界是由前一个层序的高水位体系域经地表暴露并接受近地表侵蚀（I 型)或微小近地表侵蚀（II 型）后形成的沉积基底，因此，由于高水位体系域末期的进积作用和之后的侵蚀作用，层序界面的底界的时代由不整合部位向整合部位逐渐变新。在时间轴上，层序界面的顶、底界最终在整合部位即沉积间断最小或连续的地区重合，而层序界面的时代正是在这样的地区用生物地层学的方法加以确定的[3,4]。与层序界面时代相对应的界面将地层序列划分为等时的地层单元，从而使层序地层学具有年代地层意义，本文将这一界面称为层序年代地层界面。在时空上，层序年代地层界面在不整合部位穿越层序界面的顶界和底界之间的时间间隔楔形体，并在整合部位和其顶、底界重合。在具体的地层剖面上，层序界面所代表的时间间隔楔形体的顶面、底面和层序年代地层界面重合为一个实际的地层分界面。因此，层序地层学所谓的层序界面实际上包含三层涵义：层序向陆方向的上超面、层序沉积的基底面和层序年代地层界面（图 1)。其中，层序年代地层界面既限定了层序年代地层基本单位层序时带（sequence chronozone)[3] 的顶、底界，也限定了作为局部地层系统的层序地层基本单位层序的顶、底界。而层序界面的另外两层涵义则限定了层序的向陆方向的侧边界(在层序界面的不整合部位，层序向陆方向的上超面和层序沉积的基底面，在具体的地层剖面上重合为一个实际的地层分界面，这个分界面通常被不严格地当作层序在该具体剖面上的顶界或底界。但就一个层序整体来说，上述向陆方向的上超面和上覆层序沉积的基底面实质上组成该层序向陆方向侧边界。)，而层序向海方向的侧边界则为盆地相凝缩层[3]（condensed section）的尖灭面（表 1)。由此不难理解，层序界面的三层涵义规定了它的两重性，即它既是层序地层单位或局部地层系统的界线(具穿时性)，又具有作

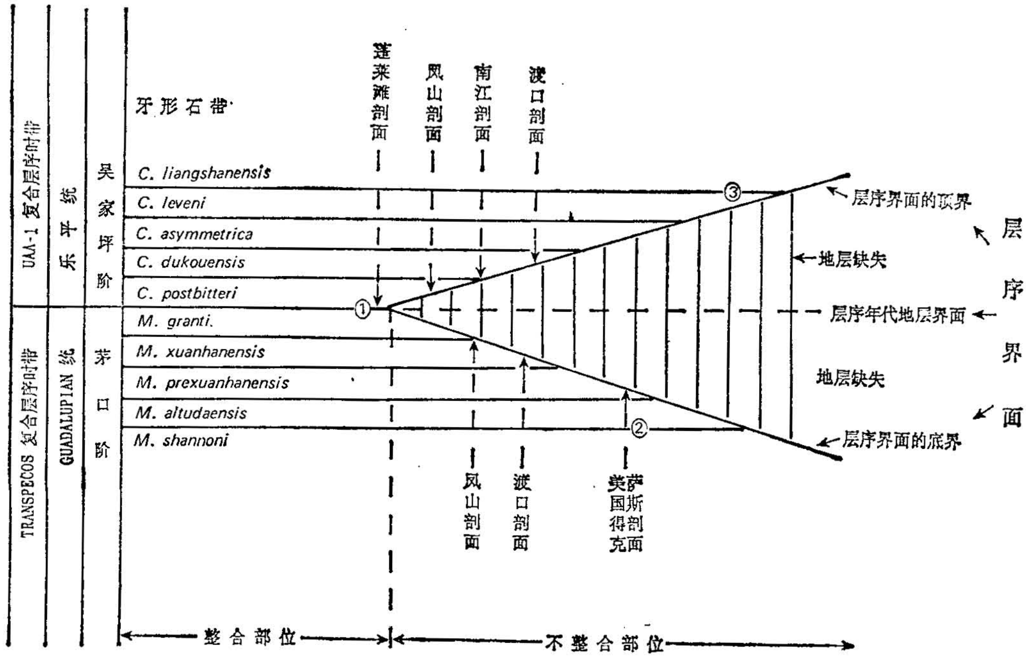

图 1　Guadalupian 统和乐平统的分界与 Transpecos 复合层序[5]时带和 UAA-1 复合层序[3]时带之间的层序界面的关系示意图

Fig. 1　Diagrammatic sketch showing the relationship of the sequence boundary between the Transpecos[5] and UAA-1 composite sequence[3] chronozones to the Guadalupian/Lopingian boundary

① 本文主张的界线；② Kozur 主张的界线[6]；③ 传统的吴家坪阶底界

① Guadalupian/Lopingian boundary proposed by this paper; ② boundary proposed by Kozur[6]; ③ traditional lower boundary of the Wujiaping Stage

表 1　层序地层系统与传统的岩石地层系统、年代地层系统的比较及新的三重地层分类方案表

Table 1　Comparison of sequence stratigraphy with lithostratigraphy and chronostratigraphy and the new tripartite stratigraphic classification system

地层分类系统	岩石地层系统	层序地层系统	年代地层系统	
			层序年代地层系统	标准年代地层系统
基本单位	组	层序	层序时带	阶
顶、底界	相变界线	层序年代地层界面	层序年代地层界面	界线层型
侧边界	相变界线	层序界面顶、底界和向海尖灭面	无	无
更高、更低级地层单位	群、段	各级复合层序、体系域、副层序	复合层序时带、体系域时带和副层序时带	系、统（时带）
分布	地方性	区域性	全球性	全球性

为层序年代地层单位或全球性年代地层单位界线的性质（等时性）。

层序界面的三层涵义和两重性使得层序地层系统既不同于地方性的岩石地层系统，也不同于全球性的年代地层系统，而是独立存在于两者之间的区域性、过渡性地层系统。

层序依据各类海泛面细分为体系域（systems tract）和副层序（parasequence），并有序叠加成更高的不同级别的复合层序（composite sequence)。它的产生及其对传统的岩石、年代地层界线的完善和优化[1]，有可能导致新的三重相互统一的地层分类系统——岩石地层系统、层序地层系统和(层序)年代地层系统的建立(生物地层学、同位素地层学、磁性地层学和事件地层学等等是地层划分和对比的重要手段，但不构成独立的地层系统）(表1)。层序地层学通过层序界面的两重性，不仅将地方性地层系统和全球性地层系统有机地联系起来，而且为生产实践提供了一个以层序为单位进行地质填图和古地理编图的，比传统的以组为单位进行制图更加高效、准确和详细的方法论。

2 一个实例：二叠纪茅口期晚期的全球性海退及其形成的层序界面

二叠纪茅口期，联合古陆已基本形成。华南等古特提斯区此时属于远岸岛海，地形起伏较大但总体地势明显较联合古陆的陆表海低。茅口期晚期的全球性海退及其形成的层序界面，在联合古陆和位于古特提斯洋东部的华南岛海的沉积记录中皆具显著的标志。在冈瓦纳大区，茅口期末的海平面下降使冈瓦纳的内陆棚大部分暴露，乐平世海相沉积非常有限，只出现在喜马拉雅地区和澳大利亚的 Canning 盆地与 Bonapart 盆地，其底部为显著的不整合面；在乐平世海相沉积仍相当发育的外陆棚区，则表现为岩相组合的急剧变化。以盐岭地区 Zaluch Nala 剖面为例，与上述不整合面相当的界面可能位于 Wargal 组中部的潮坪相微层状白云岩之中。在此层白云岩之上为 Wargal 组的中上部和 Chhidru 组构成的乐平世潟湖相至内陆棚浅海相的海进序列，之下则为茅口期晚期的较深浅海相燧石结核灰岩至潮坪相微层状白云岩-泥岩层构成的海退序列。在北方大区，东欧板块与哈萨克斯坦板块之间的海域在 Kazanian 期(大致相当茅口期中期)就已闭合。在北美西南部，仅在墨西哥的 Coahuila 可能存在乐平世早期的海相沉积，其它地区普遍为陆相沉积或膏盐沉积。笔者在参观美国得克萨斯州二叠纪剖面期间，在 Del Norte 山 Bird Mine 剖面上观察到在 Guadalupian 统顶部 Altuda 组和上覆 Tessy 组之间为一明显的不整合面，其上发育厚约 10cm 的古风化壳。在美国大盆地，这次海退造成 Guadalupian 世 Capitanian 期至乐平世海相沉积记录的缺失，在 Guadalupian 世 Wordian 期（茅口期中期)与上覆三叠纪初期的海相地层之间形成一明显的不整合面[7]。在华南上扬子区，茅口期与吴家坪期沉积之间的剥蚀面相当显著，这已成为众所公认的事实。然而，由于华南当时属于总体地势较底的远岸岛海，因而受茅口期末全球性海退的影响与上述其它地区相比明显地小，从而保存了较为完整的茅口期末和乐平世海相沉积记录。因此，从全球范围来看，华南处于茅口期晚期全球性海退形成的层序界面所代表的海相沉积间断较小和无沉积间断的部位。

通过对华南四川南江桥亭、宣汉渡口；广西柳州凤山、来宾蓬莱滩；湖南郴州等地茅口期地层和吴家坪期地层界线附近牙形石生物地层的详细研究表明，茅口期末期全球性海退形成的层序界面所代表的沉积间断时间长短在各地不一样，但以来宾蓬莱滩剖面间断最短[8]（图 1)。在来宾蓬莱滩剖面，这条层序界面的整合界面位于茅口组顶部厚层灰白

1） 梅仕龙．试论用层序地层界线优化传统地层单位的问题．中国古大陆及其边缘层序地层学及海平面变化研究项目简讯，1994，1：13—14．

色棘屑灰岩的顶部。在此界面之上，出现在乐平世占绝对优势的 *Clarkina* 属的最早代表 *C. postbitteri* Mei et Wardlaw 1994；而在此界面之下，则有在茅口期占绝对优势的 *Mesogondolella* 属最后的代表 *M. granti* Mei et Wardlaw 1994。在棘屑灰岩顶部，还见到上述两种之间的过渡类型。因此，茅口期晚期全球性海退形成的层序界面的时代应为 *C. postbitteri* 和 *M. granti* 交替之时。

C. A. Ross 和 J. R. Ross[9] 曾将全球二叠纪沉积层序归纳为一个完整的二级旋回，称之为 Transpecos 超序。然而，Transpecos 超序主要反映的是北美地块和俄罗斯地块陆表海的海平面变化以及海岸上超的相对变化，因而只包括与美国 Leonardian 统和 Guadalupian 统大致相当的华南栖霞期和茅口期的地层记录。在整个乐平世，北美、西伯利亚、冈瓦纳等地块的陆表海大多暴露或处在水下剥蚀状态，但在华南等远岸岛海区则出现了 Hag 等[3]所谓的上 Absaroka 超旋回组的第一个超旋回 UAA-1 的海进起始部分1)。因此，茅口期末期全球性海退形成的层序界面实际上是 Transpecos 超序（时带）和上 Absaroka 超旋回组的第一个超旋回 UAA-1 之间的层序界面。

3 二叠纪 Guadalupian 统和乐平统分界的最佳自然界线

美国西南部的 Guadalupian 统[9]曾被普遍地认为与华南乐平统的吴家坪阶甚至长兴阶相当[10]。最近，梅仕龙等[11]通过牙形石将华南茅口期地层与美国 Guadalupian 世地层进行了逐带对比，并发现在茅口期地层顶部还存在比美国 Guadalupian 统时代更新的一段地层，从而纠正了前人将美国 Guadalupian 统与华南乐平统下部对比的错误认识。通过华南和得克萨斯州两地牙形石生物地层的精确对比[11]，可以断定得克萨斯州 Altuda 组和上覆 Tessey 组之间的不整合面与华南茅口期和吴家坪期地层之间的不整合面是同一次全球性海退的产物。换言之，茅口期晚期开始的全球性海退形成的 Transpecos 超序（时带）和上 Absaroka 超旋回组的第一个超旋回 UAA-1 之间的层序界面恰好处在 Guadalupian 统和乐平统的分界上。

根据界线层型的概念，不整合面意味着沉积缺失和穿时，是最坏的年代地层单位界线，不宜选作界线层型。然而，与不整合面相当的层序界面的整合部位代表沉积间断最小或连续的地区，因而在这一地区以层序界面作为年代地层界线则与界线层型概念并不矛盾。换言之，层序年代地层界面完全可以作为标准年代地层单位阶的界线。将全球层型剖面和点（GSSP）选在层序界面的整合部位之后，不仅同样可以用界线层型的概念来定义年代地层单位的界线，从而使全球地质学家具有“共同语言”，而且，离开这个全球层型剖面和点，层序界面的不整合部位在具体的剖面上表现为沉积缺失和岩相组合的显著变化，在区域上表现为侵蚀面和地层上超，因此不必经过生物地层学的繁琐工作便可以在露头剖面上很容易地对其识别和进行追索。此外，通过地震、测井和岩芯资料还可在地下对其进行追索。更重要的是，层序界面最终受全球海平面变化控制，因此，通过生物地层学研究的验证，层序界面很容易在相隔很远的地区识别并实现全球对比，只不过层序界面的不整合部位在不同地区表现为不同程度的地层缺失，但其所包含的层序年代地层界面却

1) 金玉玕，张进．二叠纪末期生物集群绝灭的两个幕，1994，手稿．

是等时的。根据这一原理，笔者认为将 Guadalupian 统和乐平统的界线层型选在 Transpecos 复合层序和 UAA-1 复合层序交界的层序界面的整合部位是非常合理的。来宾蓬莱滩剖面是迄今所知沉积最为连续的剖面，因而可作为 Guadalupian 统和乐平统的分界的一个候选层型。而牙形石 *Mesogondolella granti* 带和 *Clarkina postbitteri* 带之间的界面既是层序年代地层单位 Transpecos 复合层序时带和 UAA-1 复合层序时带的界线，也是 Guadalupian 统和乐平统的界线。

层序界面标志着海退至海进的转折点，也是最佳的生物事件界线。与茅口期末全球性海退相伴生的生物绝灭事件被称为前乐平统集群灭绝事件1)。在这次绝灭过程中，约 90% 的茅口期鏟类和四射珊瑚在转折点之前消失，茅口期菊石、腕足动物和苔鲜虫的优势种在转折点之前基本灭亡，牙形石的 *Mesogondolella* 属在转折点被 *Clarkina* 属取代[8]。因此，上述 Guadalupian 统和乐平统的界线与代表从前乐平统集群灭绝事件向之后的新生物辐射演化事件转折的事件界线也是吻合的。

Kozur[6] 主张以牙形石 *M. altudaensis* 首次出现作为 Guadalupian 统与乐平统的分界，这一界线在标准地点得克萨斯州的 Glass 山位于 Altuda 组和上覆 Tessy 组之间的不整合面之下，比本文主张的界线低 4 个牙形石带（图 1）。而传统的乐平统底界即吴家坪阶底界通常以牙形石 *Clarkina liangshanensis* 带的出现为标志，这条界线普遍位于华南区茅口期与吴家坪期沉积之间的不整合面之上，比本文主张的界线高 4 个牙形石带（图 1）。尽管上述两条界线符合界线层型的概念，但是，由于它们没能反映茅口期末全球性海退事件和与之密切关联的前乐平统集群灭绝事件，从而在岩相和化石组合上缺乏显著的标志，因此，除非经过少数几个二叠纪牙形石专家进行详细、繁琐的研究，几乎不可能对它门进行横向追索和对比。此外，这两条界线是人为确定的界线，并没有反映地质演化的阶段性。

综上所述，本文主张的 Guadalupian 统和乐平统的界线体现了层序界面、界线层型和事件界线三位一体的有机结合，因而具有明显的岩相和化石组合标志，在露头和地下皆易追索，易于进行全球对比，并反映了地质演化和生物演化的阶段性，所以是最佳的自然界线。本文定义的最佳自然界线与 Walliser[1,2] 的自然界线有本质的区别，即前者体现了层序界面和界线层型概念的有机结合并体现了地质演化中沉积与缺失，等时与穿时，渐变与突变等对立的统一。

本文得到王鸿祯院士的热情鼓励和帮助，杨遵仪院士审阅了全文并提出了建设性意见，金玉玗研究员、Bruce R. Wardlaw 博士和朱自力硕士予以热情支持，在此一并致谢。

参 考 文 献

1 Walliser O H. Pleading for a natural D/C-boundary. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg., 1984, 67: 241—246.

2 Walliser O H. Natural boundaries and commission boundaries in the Devonian. Ibid., 1985, 75: 401—408.

3 Haq B U, Hardenbol J and Vail P R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of

1）金玉玗，张进. 二叠纪末期生物集群绝灭的两个幕. 1994，手稿.

sea-level change. In: C. K. Wilgus, H. Posamentier, C. A. Ross and C. G. St. C. Kendall eds. Sea-Level changes: An integrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Special Publication, 1988, 42: 71—108.

4 Vail P R, Audemard F, Bowman S A, Eisner P N and Perez-Cruz C. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology-an overview. in: G. Einsele, W. Ricken and A. Seilacher eds. Cycles and events in stratigraphy. Springer-Verlag Beelin Heidelberg 1991. 617—659.

5 Ross C A and Ross J R. Late Paleozoic sea levels and depositional sequences. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, 1987, 24: 137—149.

6 Kozur H. Late Permian Tethyan conodonts from West Texas and their significance for world-wide correlation of the Guadalupian-Dzhulfian boundary. Geol. Palaeont. Mitt. Innsbruck, 1991/1992, 18: 179—186.

7 Wardlaw B R and Collinson J W. Paleontology and deposition of the Phosphoria Formation. Contributions to Geology, University of Wyoming, 1986, 24(2): 107—142.

8 Mei Shilong, Jin Yugan and Wardlaw B R. Zonation of conodonts from the Moukouan-Wuchiapingian boundary strata, South China. Palaeoworld, 1994, 4: 225—233.

9 Glenister B F Boyd D W, Furnish W M, Grant R E, Harris M T, Kozur H, Lambert L L, Nassichuk W W, Newell N D, Pray L C, Spinosa C, Wardlaw B R, Wilde G L and Yancey T T. The Guadalupian: Proposed international standard for a Middle Permian Series. International Geology Review, 1992, 34(9): 857—888.

10 Cowie J W and Bassett M G. 1989 Global stratigraphic chart of the International Union of Geological Sciences. (issued with) Episodes, 1989, 12.

11 梅仕龙，金玉玕，Bruce R. Wardlaw. 四川宣汉渡口二叠纪"孤峰组"牙形石序列及其全球对比意义。古生物学报，1994，33(1): 1—23.

THE BEST NATURAL BOUNDARY: A NEW CONCEPT FOR STRATIGRAPHIC DIVISION DEVELOPED BY COMBINING THE SEQUENCE BOUNDARY WITH THE GSSP

Mei Shilong

(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract

A detailed study on the sequence boundary has been made with reference to the case study of the Guadalupian/Lopingian boundary. From the study the following ideas have been got. 1. Sequence stratigraphy is an independent regional and transitional stratigraphic category between local lithostratigraphy and global chronostratigraphy. Thus, a new tripartite stratigraphic classification is tentatively proposed as shown in Table 1. 2. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) or "Golden Spike" should be established in the conformable portion of a related sequence boundary. The boundary established in light of this principle marks the turning point from global regression to transgression and its concomitant one from a series of organic extinction events to a series of organic radiation events. It has distinct lithological and faunal indicators, and thus can be easily recognized, traced and correlated globally. In this paper this kind of boundary is defined as the Best Natural Boundary (BNB). 3. The BNB of the Guadalupian/Lopingian boundary lies between the *Mesogondolella granti* Zone and *Clarkina postbitteri* Zone, and the Penglaitan section may be the potential stratotype section of this boundary.

Key words: sequence boundary, new tripartite stratigraphic classification, GSSP, best natural boundary, Guadalupian/Lopingian boundary

作　者　简　介

梅仕龙，1965 年 1 月生，1985 年毕业于北京大学地质系古生物及地层专业，1988 年在北京大学地质系获硕士学位，1991 年在北京大学获博士学位，现任中国地质大学（北京)地质矿产系副教授，主要从事古生物及地层学科研和教学工作。通讯处：北京市海淀区学院路 29 号，中国地质大学地质矿产系大地构造教研室，邮政编码：100083。